



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 195 17 116 C 1

⑤① Int. Cl. 6:  
F 25 J 3/06

②① Aktenzeichen: 195 17 116.0-13  
②② Anmeldetag: 10. 5. 95  
④③ Offenlegungstag: —  
④⑤ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 20. 6. 96

DE 195 17 116 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Linde AG, 65189 Wiesbaden, DE

⑦② Erfinder:  
Schmidt, Hans, Dr.-Ing., 82515 Wolfratshausen, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:  
EP 01 43 267 B1

⑤④ Verfahren zur Verringerung des Energieverbrauchs

⑤⑦ Verfahren zur Verringerung des Energieverbrauchs eines Abkühl- und/oder Verflüssigungsprozesses, insbesondere eines Abkühl- und/oder Verflüssigungsprozesses von Erdgas, gekoppelt mit einem Kältekreislauf-Prozeß, der der für den Abkühl- und/oder Verflüssigungsprozeß notwendigen Energiebereitstellung dient, wobei  
a) mittels eines separaten Hilfskältekreislaufes auf direktem Wege oder durch Zwischenschalten wenigstens eines weiteren Kälte(sole)kreislaufs ein Vorkühlen der der Gasturbine des Kältekreislauf-Prozesses zugeführten Verbrennungsluft sowie  
b) ein Vorkühlen des/der abzukühlenden und/oder zu verflüssigenden Mediums/-ien erfolgt.

DE 195 17 116 C 1

39811-03 PCT

Referenz

PCT  
nach Repert.  
8-18-04

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verringerung des Energieverbrauchs eines Abkühl- und/oder Verflüssigungsprozesses, insbesondere eines Abkühl- und/oder Verflüssigungsprozesses von Erdgas, gekoppelt mit einem Kältekreislauf-Prozeß, der der für den Abkühl- und/oder Verflüssigungsprozeß notwendigen Energiebereitstellung dient.

Bei herkömmlichen Tieftemperaturverfahren, wie z. B. der Verflüssigung von Erdgas, wird das Rohgas in der Regel mit Umgebungstemperatur dem Tieftemperaturverfahren zugeführt und erst im sog. kalten Teil des Verfahrens abgekühlt und verflüssigt. Die für die Abkühlung bzw. Verflüssigung des Rohgases benötigte Kälte wird durch einen, in der Regel geschlossenen Kältekreislauf bereitgestellt. Die Verdichtung des in ihm zirkulierenden Kältemittels kann z. B. mittels Gasturbinenantrieben erfolgen. Die hierbei für die Verbrennung benötigte Luft wird mit Umgebungstemperatur angesaugt. Aus der EP 0 143 267 B1 ist ein Verflüssigungsprozeß für Erdgas beschrieben, bei dem das zu verflüssigende Erdgas unter Anwendung von zwei geschlossenen Kreisläufen, in denen Mehrkomponenten-Kühlmittel zirkuliert werden, abgekühlt und verflüssigt wird.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, das den Energieverbrauch eines Abkühl- und/oder Verflüssigungsprozesses, der mit einem Kältekreislauf-Prozeß gekoppelt ist, verringert.

Dies wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß mittels eines separaten Hilfskältekreislaufes auf direktem Wege oder durch Zwischenschalten wenigstens eines weiteren Kälte(sole)kreislaufes ein Vorkühlen der der Gasturbine des Kältekreislauf Prozesses zugeführten Verbrennungsluft sowie ein Vorkühlen des/der abzukühlenden und/oder zu verflüssigenden Mediums/iens erfolgt.

Die Erfindung sowie weitere Ausgestaltungen davon seien anhand der Fig. 1 und 2 näher erläutert.

Hierbei zeigt

Fig. 1 ein Erdgas-Verflüssigungsverfahren, wie es z. B. im Rahmen einer LNG-Baseload-Anlage verwendet wird.

Fig. 2 zeigt ein  $N_2/C_1$ -Trennverfahren, wie es z. B. bei der Stickstoff-Abtrennung aus Erdgas verwendet wird.

Bei dem erwähnten Verfahren gemäß Fig. 1 wird der über die Leitung 1 herangeführte Erdgasstrom in einer Kohlendioxid-Wäsche A zunächst von noch in ihm enthaltenen Kohlendioxid befreit. Der Erdgasstrom weist am Ausgang der Kohlendioxid-Wäsche A noch eine Temperatur von 313 K auf. Anschließend wird der von Kohlendioxid befreite Erdgasstrom mittels Leitung 2 einem Wärmetauscher B zugeführt. In diesem wird er im Gegenstrom zu dem Kältemittel eines separaten Hilfskältekreislaufes, auf den im folgenden noch näher eingegangen wird, um 30° K abgekühlt. Der abgekühlte Erdgasstrom wird sodann einem Abscheider C zugeführt, wobei das im Abscheider anfallende Wasser über die gestrichelt gezeichnete Leitung 4 zu der Wäsche A zurückgeführt wird. Der am Kopf des Abscheiders C abgezogene Erdgasstrom wird mittels Leitung 3 einer Trocknungseinheit D zugeführt. In dieser erfolgt, vorzugsweise auf adsorptivem Wege, eine Trocknung des Erdgasstromes. Anschließend wird der vorgekühlte Erdgasstrom mittels Leitung 5 einem Wärmetauscher E zugeführt, in dem er gegen den Prozeßkältekreislauf, auf den ebenfalls noch im folgenden eingegangen wird, wei-

ter abgekühlt und verflüssigt wird. Das verflüssigte Erdgas wird aus dem Wärmetauscher E mittels Leitung 6 abgeführt und seiner weiteren Verwendung, z. B. Zwischenspeicherung in einem LNG-Tank, zugeführt. Da die Zwischenspeicherung im LNG-Tank etwa bei Atmosphärendruck erfolgt, wird das verflüssigte Erdgas zunächst im Ventil F auf den im LNG-Tank herrschenden Druck entspannt und anschließend mittels Leitung 7 in den LNG-Tank geführt. Der für die weitere Abkühlung und Verflüssigung des Erdgases benötigte Prozeßkältekreislauf enthält als Kältemittel ein Gemisch aus Kohlenwasserstoffen oder Stickstoff und Kohlenwasserstoffen. Das Kältemittelgemisch wird im vorliegenden Falle zweistufig verdichtet ( $H, H'$ ). Nach der ersten Verdichtung im Verdichter H wird das Kältemittelgemisch mittels Leitung 8 einem Luftkühler J zugeführt, in diesem gegen Umgebungsluft abgekühlt, und anschließend der zweiten Verdichterstufe  $H'$  zugeführt. Das aus der zweiten Verdichterstufe  $H'$  mittels Leitung 9 abgezogene Kältemittelgemisch wird wiederum dem bereits erwähnten Luftkühler J zugeführt und anschließend mittels Leitung 10 einem Wärmetauscher K zugeführt und in diesem gegen das Kältemittel eines Kältesolekreislaufes, auf den ebenfalls im folgenden noch eingegangen wird, abgekühlt. Das vorgekühlte Kältemittelgemisch wird anschließend mittels Leitung 11 dem Wärmetauscher E zugeführt, unter hohem Druck abgekühlt, je nach Auslegung des Prozesses über die Ventile L und/oder  $L'$  entspannt und gegen den abzukühlenden und zu verflüssigenden Erdgasstrom in Leitung 5 und den Hochdruck-Kältemittelstrom in Leitung 11 erwärmt. Danach wird der Kältemittelstrom mittels Leitung 12 wieder der ersten Verdichterstufe H zugeführt. Der Antrieb der zweistufigen Verdichtung ( $H, H'$ ) erfolgt mittels einer zweistufigen Verdichtung ( $H, H'$ ) erfolgt mittels einer Gasturbine G, der über Leitung 13 Verbrennungsluft zugeführt wird. Die über Leitung 13 herbeigeführte Verbrennungsluft wird vor ihrer Zuführung in die Gasturbine in einem Wärmetauscher  $K'$  gegen einen Teilstrom des bereits erwähnten Kältesolekreislaufes abgekühlt. Über Leitung 15 erfolgt die Zugabe des benötigten Brenngases, während Leitung 16 die Abgasleitung darstellt. Der bereits erwähnte Kältesolekreislauf, der als Kältesole z. B. eine Mischung aus Ethylenglykol und Wasser enthält, kann aus Sicherheitsüberlegungen vorgesehen werden. Die Kühlsole dieses Kältesolekreislaufes wird über Leitung 20 einer Pumpe M zur Druckerhöhung und danach mittels Leitung 21 einem Wärmetauscher N zugeführt. In diesem erfolgt ein Abkühlen der Kühlsole im Gegenstrom zu einem Teilstrom des bereits erwähnten Hilfskältekreislaufes, der, wie bereits erwähnt, der Vorkühlung des Erdgasstromes dient. Die aus dem Wärmetauscher N austretende Kühlsole wird mittels Leitung 22 abgezogen und mittels Leitung 23 teils dem Wärmetauscher K, teils dem Wärmetauscher  $K'$  zugeführt. Dem mittels Leitung 20 aus dem Wärmetauscher K abgeführten Anteil der Kühlsole wird der aus dem Wärmetauscher  $K'$  mittels Leitung 24 abgeführte Restteil der Kühlsole beigemischt. Der bereits erwähnte Hilfskältekreislauf enthält als Kältemittel einen bei Umgebungstemperatur verflüssigbaren Reinstoff, wie z. B. Propan, oder ein bei Umgebungstemperatur verflüssigbares Gemisch. Das Kältemittel wird mittels Leitung 30 einem Verdichter O zugeführt, anschließend mittels Leitung 31 einem Luftkühler P zugeführt und sodann in einen Sammelbehälter Q geleitet. Aus diesem Sammelbehälter wird mittels Leitung 33 flüssiges Kältemittel entnommen und nach

Durchlaufen der Pumpe R mittels Leitung 34 einem Verzweigungspunkt zugeführt. Ein Teil des Kältemittels wird im Ventil S kälteleistend entspannt und mittels der Leitung 35 dem bereits erwähnten Wärmetauscher N zugeführt. In diesem erfolgt eine Anwärmung gegen die abzukühlende Kühlsole des Kältesolekreislaufes. Das angewärmte Kältemittel des Hilfskältekreislaufes wird anschließend mittels Leitung 36 wieder der Leitung 30 beigemischt. Ein Teil des Kältemittels wird von dem erwähnten Verzweigungspunkt mittels Leitung 37 einem Entspannungsventil T zugeführt, in diesem entspannt und mittels Leitung 38 dem Wärmetauscher B zugeführt. Das im Wärmetauscher B erwärmte Kältemittel wird anschließend mittels Leitung 39 wieder der Leitung 30 zugeführt.

Fig. 2 zeigt, wie bereits erwähnt, ein  $N_2/C_1+$ -Trennverfahren wie es z. B. bei der Stickstoff-Abtrennung aus Erdgas verwendet wird. Hierbei wird der über Leitung 1 herangeführte Stickstoff-enhaltende Erdgasstrom, der von weiteren unerwünschten Komponenten, wie z. B. Kohlendioxid, bereits gereinigt ist, in einem Wärmetauscher A im Gegenstrom zu der Kühlsole eines Kältesolekreislaufes, auf den im folgenden noch näher eingegangen wird, abgekühlt. Der Erdgasstrom wird anschließend mittels Leitung 2 einem weiteren Wärmetauscher B zugeführt, in dem er gegen den Prozeßkältekreislauf, auf den ebenfalls noch im folgenden eingegangen wird, weiter abgekühlt und teilweise oder vollständig verflüssigt wird. Das teilweise oder vollständig verflüssigte Erdgas wird aus dem Wärmetauscher B mittels Leitung 3 abgeführt und über das Entspannungsventil C und mittels der Leitung 4 auf den Kopf der Trennsäule D gegeben. In der Trennsäule D erfolgt die Auftrennung in eine Stickstoff-reiche und eine  $C_1+$ -reiche Fraktion. Die Stickstoff-reiche Fraktion wird mittels Leitung 5 am Kopf der Trennsäule D abgezogen, im Wärmetauscher B gegen den abzukühlenden Erdgasstrom erwärmt und anschließend mittels Leitung 6 aus dem Verfahren abgezogen. Die Beheizung der Trennsäule D erfolgt mittels der Säulenheizung E. Die  $C_1+$ -reiche Fraktion wird am Sumpf der Trennsäule D mittels Leitung 7 abgezogen, in der Pumpe F auf den gewünschten Abgabedruck gepumpt und anschließend mittels Leitung 8 dem Wärmetauscher B zugeführt. In diesem wird die  $C_1+$ -reiche Fraktion angewärmt und verdampft und anschließend mittels Leitung 9 aus dem Verfahren abgezogen.

Die für die Abkühlung und Verflüssigung des Erdgasstromes benötigte Kälte wird durch den Prozeßkältekreislauf X bereitgestellt. Dieser unterscheidet sich von dem, in der Fig. 1 dargestellten Prozeßkältekreislauf nur dadurch, daß er neben den ersten beiden Verdichterstufen H und H' eine dritte Verdichterstufe U aufweist. Der Antrieb dieser dritten Verdichterstufe U erfolgt durch Entspannen des Kältemittelgemisches in der Entspannungsturbine V. Wie auch bereits in der Fig. 1 dargestellt, wird das Kältemittelgemisch nach jeder Verdichterstufe einem Luftkühler J zugeführt. Daran anschließend wird das Kältemittelgemisch jeweils durch einen Wärmetauscher K geleitet, in dem das Kältemittelgemisch gegen einen Teilstrom eines Kältesolekreislaufes abgekühlt wird. Auf diesen Kältesolekreislauf sowie auf den Hilfskältekreislauf wird im folgenden näher eingegangen. Das Kältemittelgemisch des Hilfskältekreislaufes, vorzugsweise ein bei Umgebungstemperatur verflüssigbarer Reinstoff, wie z. B. Propan, oder ein bei Umgebungstemperatur verflüssigbares Gemisch, wird mittels Leitung 10 einem Verdichter L zugeführt. Nach der Verdichtung wird das Kältemittelgemisch

über Leitung 11 einem Luftkühler M und anschließend einem Sammelbehälter N zugeführt. Aus diesem Sammelbehälter wird mittels Leitung 13 das flüssige Kältemittelgemisch entnommen und in zwei Teilströme aufgeteilt. Ein erster Kältemittelgemischteilstrom wird im Ventil O kälteleistend entspannt und im Wärmetauscher P gegen die abzukühlende Kühlsole des Kältesolekreislaufes erwärmt und verdampft. Anschließend wird dieser Kältemittelgemischteilstrom mittels der Leitungen 15 und 10 wieder zu dem Verdichter L zurückgeführt. Der zweite Kältemittelgemischteilstrom wird mittels Leitung 16 einem Entspannungsventil Q zugeführt. Nach der kälteleistenden Entspannung im Entspannungsventil Q wird dieser Kältemittelgemischteilstrom mittels Leitung 17 dem Wärmetauscher R zugeführt, in dem er gegen die abzukühlende Kühlsole des Kältesolekreislaufes erwärmt und verdampft wird. Aus diesem Wärmetauscher R wird das Kältemittelgemisch anschließend über die Leitungen 18 und 10 dem Verdichter L zugeführt. Die Kühlsole des Kältesolekreislaufes wird mittels Leitung 20 einer Pumpe S zugeführt, in dieser auf den gewünschten Druck gepumpt und dem bereits erwähnten Wärmetauscher R zugeführt. In diesem wird die Kühlsole gegen das anzuwärmende Kältemittelgemisch des Hilfskältekreislaufes abgekühlt und anschließend mittels Leitung 21 einem Verzweigungspunkt zugeführt. An diesem Verzweigungspunkt wird ein Teilstrom der Kühlsole mittels Leitung 22 dem ebenfalls bereits erwähnten Wärmetauscher P zugeführt und in diesem gegen das anzuwärmende Kältemittelgemisch des Hilfskältekreislaufes abgekühlt. Anschließend wird die Kühlsole des Kältesolekreislaufes mittels der Leitungen 23 und 20 wieder der Pumpe S zugeführt. Der zweite Teilstrom der Kühlsole wird von dem Verzweigungspunkt mittels Leitung 24 abgezogen. Ein Teilstrom davon wird mittels Leitung 25 dem ebenfalls bereits erwähnten Wärmetauscher A zugeführt und in diesem gegen den abzukühlenden Stickstoff-haltigen Erdgasstrom angewärmt und verdampft. Die angewärmte und verdampfte Kühlsole wird daran anschließend mittels der Leitungen 26, 31, 32 und 20 wieder der Pumpe S zugeführt. Ein weiterer Teilstrom der Kühlsole des Kältesolekreislaufes wird mittels der Leitungen 24 und 27 dem ebenfalls bereits erwähnten Wärmetauscher K zugeführt. In ihm wird die Kühlsole erwärmt und anschließend mittels der Leitung 28 der Kühlsole in den Leitung 31 und 32 beigemischt. Ein weiterer Teilstrom der Kühlsole wird mittels Leitung 29 dem Wärmetauscher K' zugeführt. Im Wärmetauscher K' wird die der Gasturbine E zugeführte Verbrennungsluft abgekühlt. Die im Wärmetauscher K' erwärmte Kühlsole wird anschließend mittels Leitung 30 der Kühlsole in den Leitungen 26 und 31 beigemischt.

Durch die Vorkühlung der der Gasturbine zugeführten Verbrennungsluft sowie der Vorkühlung des abzukühlenden und/oder zu verflüssigenden Mediums und/oder des Prozeßkältekreislaufes, in den Beispielen der Fig. 1 und 2 des Erdgases, wird eine deutliche Verringerung der spezifischen Verflüssigungs- bzw. Kälteleistung erzielt. Vor allem bei Großanlagen, wie z. B. LNG-Baseload-Anlagen, bestimmt der Gesamtwirkungsgrad die Größe der einzelnen Verflüssigungsstränge und damit die Investitionskosten einer derartigen Anlage. Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird eine deutlich Vergrößerung der Stranggröße bei LNG-Baseload-Anlagen und bei anderen Großanlagen-Typen eine deutliche Verminderung des spezifischen Energiebedarfs erreicht.

Der der Vorkühlung der Verbrennungsluft sowie der

Vorkühlung des/der abzukühlenden und/oder zu verflüssigenden Mediums/-ien dienende Hilfskältekreislauf oder Kältesolekreislauf kann selbstverständlich auch für weitere Vorkühl- bzw. Kühlprozesse verwendet werden. Derartige Vorkühl- bzw. Kühlprozesse sind z. B. Vorkühlen des Rohgases vor Absorbieren, Kühlen des Kopfproduktes der Kohlendioxidfermentierenden Aminwäsche, Unterkühlen des Kältemittel bzw. Kältemittelgemisches, Vorkühlen des Hochdruck-Prozeßkältekreislaufs, etc

Die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist selbstverständlich nicht auf die beiden in den Fig. 1 und 2 dargestellten Verfahren beschränkt. Es ist insbesondere auch bei Verflüssigungsprozessen, die mehrstufige Propan-Kältekreisläufe verwenden oder bei Prozessen, die C<sub>2</sub>/C<sub>3</sub>-Kältekreisläufe oder Reinstoff-Kältekreisläufe verwenden, vorteilhaft anwendbar.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Verringerung des Energieverbrauchs eines Abkühl- und/oder Verflüssigungsprozesses, insbesondere eines Abkühl- und/oder Verflüssigungsprozesses von Erdgas, gekoppelt mit einem Kältekreislauf-Prozeß, der der für den Abkühl- und/oder Verflüssigungsprozeß notwendigen Energiebereitstellung dient, dadurch gekennzeichnet, daß
  - a) mittels eines separaten Hilfskältekreislaufes auf direktem Wege oder durch Zwischenschalten wenigstens eines weiteren Kälte(sole)kreislaufs ein Vorkühlen der der Gasturbine des Kältekreislauf-Prozesses zugeführten Verbrennungsluft sowie
  - b) ein Vorkühlen des/der abzukühlenden und/oder zu verflüssigenden Mediums/-ien erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das abzukühlende und/oder zu verflüssigende Rohgas und/oder das Prozeßkältekreislaufmittel- bzw. gemisch das abzukühlende und/oder zu verflüssigende Medium darstellt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der separate Hilfskältekreislauf als Kältemittel bei Umgebungstemperatur verflüssigbare Reinstoffe, wie z. B. Propan, oder Gemische aufweist.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

FIG. 1



